

5. ГОСТ Р МЭК 61131-2016. Контроллеры программируемые. – М.: Стандартинформ, 2016. – 230 с.

6. Макаров Г.В. Моделирование логических состояний оборудования / Г.В. Макаров, Е.В. Тамаркина, М.В. Ляховец, А.С. Саламатин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019: труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Мин-во образования и науки РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т [и др.]; под общ. ред.: С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – С. 108-113.

7. Саламатин А.С. Типовые решения по автоматизации технологических объектов на примере углеобогачительных фабрик / А.С. Саламатин, Г.В. Макаров, М.В. Ляховец, Л.П. Мышляев, М.В. Раскин // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк. 2018. №4. – С. 331-334.

8. Спирин Н.А. Концепция "Индустрия 4.0". научные проблемы создания интеллектуальных систем управления технологическими процессами в пирометаллургии / Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Шнайдер Д.А., Краснобаев А.В. // В сб. «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019». Труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием); под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. 2019. С. 25-29.

9. Развитие автоматизированной системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики / Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Ляховец М.В., Венгер К.Г., Леонтьев И.А., Мелкозеров М.Ю. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. – С. 316-323.

УДК 669.1

**М. О. Незнаев, В. В. Лавров**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПЕТЛЕВОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РЕКУПЕРАТОРА**

**Аннотация.** На сегодняшний день опыт отечественных и зарубежных предприятий убедительно доказывает, что развитие предприятий металлургического комплекса, решение проблемы качества и конкурентной способности продуктов металлургии на мировом рынке требует коренного совершенствования систем хранения, сбора, передачи и использования информации, используемой как для управления технологическими процессами, так и для управления производством в целом. Любой технологический объект или оборудование должен быть максимально автоматизирован и компьютеризирован. Это значительно повышает ее экономическую эффективность и позволяет компании оставаться конкурентоспособной на

рынке. Для решения перечисленных проблем с целью повышения термического КПД в печах, в следствие использование петлевого металлического рекуператора, была создана программа, предназначена для расчета площади поверхности нагрева и максимальной температуры стенки рекуператора. Конечными пользователями являются проектные институты, которые занимаются проектированием теплоизоляционных установок. При проектировании необходимо реализовывать сложную методику, поэтому расчет нужно автоматизировать.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, математическая модель, Excel, веб-приложение, рекуператор, Solver Foundation, NET Core, HTML.

**Abstract.** *Today experience of domestic and foreign enterprises convincingly proves that the development of metallurgical complex enterprises, solving the problem of quality and competitiveness of metallurgy products in the world market requires a radical improvement of systems for storing, collecting, transmitting and using information used both for controlling technological processes and for production management in general. Any technological object or equipment should be automated and computerized as much as possible. This significantly increases its economic efficiency and allows the company to remain competitive in the market. To solve the listed problems in order to increase the thermal efficiency in the furnaces, as a result of the use of a loop metal recuperator, a program was created designed to calculate the heating surface area and the maximum temperature of the recuperator wall. The end users are design institutes that design thermal insulation installations. When designing, it is necessary to implement a complex methodology, therefore, the calculation must be automated.*

**Key words:** *software, mathematical model, Excel, web application, recuperator, Solver Foundation, .NET Core, HTML.*

Термические и нагревательные печи в металлургической и машиностроительной отраслях являются одними из основных потребителей топлива в стране и, как правило, потребляют наиболее ценные виды топлива: мазут и газ. В большинстве случаев в промышленных условиях присутствуют очень низкие тепловые коэффициенты полезного действия, значение которых в производственных условиях чаще всего не превышает 20-30 %. Низкий тепловой КПД промышленных печей в основном связан с очень большими потерями тепла с отходящими дымовыми газами, иногда достигающими 50-65 процентов от количества тепла, подводимого к печи. Поэтому одна из основных задач теплотехники – найти наиболее полное использование энергии сжигаемого в печах топлива с наименьшими затратами. Существенную роль в реализации этой задачи играют промышленные печи. В теплообменниках из-за физического тепла газов, выходящих из рабочего пространства, воздух, подаваемый в печь для горения, нагревается, а в некоторых случаях подогревается газообразное топливо. Наиболее эффективный метод повышения термического КПД печей и, как следствие, экономии топлива - вернуть в печь часть тепла, содержащегося в отходящих дымовых газах, путем его нагрева в теплообменниках, называемых рекуператорами. Нагрев воздуха не только экономит топливо, но и увеличивает температуру продуктов сгорания топлива, ускоряет процесс нагрева металла [1].

За последнее время ведется большая работа по проектированию новых типов металлических рекуператоров и развитию их серийного производства на заводах. В настоящее время в промышленности используется большое количество рекуператоров металла: игольчатых, радиационных, трубчатых и термоблоков. В этом проекте объектом информатизации является металлический петлевой рекуператор для нагревательной печи. Рекуператор – это

теплообменник, предназначенный для нагрева воздуха или газа за счет продуктов сгорания, в связи с этим рекуператор экономит энергию и эксплуатационные расходы.

Эффективность работы рекуператора тепла заключается в характере движения потоков теплоносителя в аппарате относительно друг друга, определяющих особенности процессов теплообмена. Есть три классических модели движения: прямоток (параллельный ток), противоток и перекрестный ток. Каждая схема имеет свои достоинства и недостатки, поэтому на практике в конкретных конструкциях устройств часто реализуются сложные комбинированные схемы движения, позволяющие добиться необходимой долговечности рекуператора и максимально возможной температуры среды.

Основой теплотехнического расчета петлевого металлического рекуператора послужила методика расчета 4-х секционного рекуператора нагрева воздуха, предложенная Лисиенко В.Г. [2]. Основой идеей этого метода заключается в вычислении коэффициента теплопередачи, площади поверхности и максимальной температуры стенки рекуператора.

Для проверки правильности работы алгоритма расчета программы, а также для отработки методики расчета в рамках проекта создан расчетный файл с помощью MS Office Excel. На рисунке 1 продемонстрирована методика расчета величин в программе Excel.

Для реализации проекта была использована библиотека математического моделирования Solver Foundation. Microsoft Solver Foundation – это .NET-инструмент для моделирования, оптимизации и симуляции. Solver Foundation включает в себя NET-библиотеку Microsoft.Solver.Foundation.dll, которую можно использовать с любым языком CLR для моделирования, симуляции и оптимизации кода; а также плагин, который после установки позволяет строить свою модель и решать проблемы прямо в Excel с помощью OML (Optimization Model Language).

Для разработки web-приложения была применена платформа ASP.NET Core. Сегодня обычным явлением является наличие приложения, работающего на разных устройствах; бэкэнд на веб-сервере, интерфейс администратора на рабочем столе Windows, в Интернете и мобильных приложениях для потребителей [3]. NET Core используется для создания различных видов приложений, в особенности настольные, мобильные, web и др. Данная платформа включает в себя основные функции, необходимые для запуска базового приложения .NET Core. Другие функции предоставляются в виде пакетов NuGet, которые можно добавить в свое приложение по мере необходимости. Таким образом, приложение увеличивает производительность, уменьшает объем памяти и упрощает обслуживание. Именно поэтому для разработки программы была выбран .NET Core.

Наименование	Обозначение	Формула	Значение	СИ
количество тепла, переданного воздуху	$Q_{\text{в}}$	$V_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^*)$	2847,73	кВт
количество тепла, вносимое в теплообменный аппарат продуктами сгорания	$Q_{\text{д}}$	$V_{\text{д}} \cdot t_{\text{д}}$	11159,91	кВт
количество тепла, уносимое продуктами сгорания	$Q_{\text{д}}^*$	$0,95 \cdot Q_{\text{д}} - Q_{\text{в}}$	7774,20	кВт
Энтальпия продуктов сгорания	$Q_{\text{д}}^*$	$Q_{\text{д}}^* / V_{\text{д}}$	785,27	кДж/м <sup>3</sup>
Температура продуктов сгорания после рекуператора	$t_{\text{д}}^*$	$Q_{\text{д}}^* / \rho_{\text{д}}$	557,28	°C
среднелогарифмическая разность температур	$\Delta t_{\text{ср}}$	$((t_{\text{д}} - t_{\text{в}}) - (t_{\text{д}}^* - t_{\text{в}})) / (2,31 \cdot \log_{10}((t_{\text{д}} - t_{\text{в}}) / (t_{\text{д}}^* - t_{\text{в}})))$	797,33	
параметр	$R$	$(t_{\text{д}} - t_{\text{д}}^*) / (t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^*)$	0,87	
параметр	$P$	$(t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^*) / (t_{\text{д}} - t_{\text{д}}^*)$	0,36	
Поправочный коэффициент	$\varepsilon_{\Delta t} = f(R, P)$	для комбинированного крестообразного противотока	0,99	

  

Расчет коэффициента теплопередачи				
Воздух проходит внутри трубы рекуператора				
Число Рейнольдса	$Re$	$w_{\text{в}} \cdot d_{\text{в}} / \nu \cdot 10^{-6}$	40836,79	
Поправочный коэффициент	$Kt$	в зависимости от величины $T_{\text{ст}}/T_{\text{т}}$ (справочные данные)	0,73	
Поправочный коэффициент на длину канала	$Kl$	при $L/d_{\text{в}} > 50$	1,00	
Поправочный коэффициент (если изогнута труба)	$Ki$	$1 + 1,8 \cdot d_{\text{в}} / R$	1,13	
Суммарный поправочный коэффициент	$K_{\text{рек}}$	$Kt \cdot Kl \cdot Ki$	0,84	
Число Нуссельта	$Nu$	$d_{\text{в}} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot K_{\text{рек}}$	80,88	
Коэффициент теплоотдачи конвекцией на пути движения воздуха	$\alpha_{\text{в}}^*$	$Nu \cdot \lambda_{\text{в}} / d_{\text{в}}$	46,80	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Коэффициент теплоотдачи конвекцией в пересчете на поверхность наружной трубы	$\alpha_{\text{в}}$	$\alpha_{\text{в}}^* \cdot d_{\text{в}} / d$	41,87	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Продукты сгорания смывают наружную поверхность трубы рекуператора				
Число Рейнольдса	$Re$	$w_{\text{д}} \cdot d_{\text{д}} / \nu \cdot 10^{-6}$	5675,42	
Поправочный коэффициент на число труб	$Kz$	Режим движения продуктов сгорания турбулентный	1,00	
Поправочный коэффициент	$Kt$		1,00	
Суммарный поправочный коэффициент	$K_{\text{рек}}$	$Kt \cdot Kz$	1,00	
Число Нуссельта	$Nu$	$d_{\text{д}} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot K_{\text{рек}}$	42,34	
Коэффициент конвективной теплоотдачи	$\alpha_{\text{кд}}$	$Nu \cdot \lambda_{\text{д}} / d_{\text{д}}$	49,30	
Эффективная длина луча	$S_{\text{эф}}$	$1,2 \cdot 3,5 \cdot d_{\text{н}}$		
Эффективная длина луча	$S_{\text{эф}}$	$((0,78 + 0,016 H_2O) / (\sqrt{0,01 \cdot (CO_2 + H_2O)} + S_{\text{эф}}) - 0,01) \cdot (1 - 0,37 T / 1000) \cdot 0,01 \cdot (CO_2 + H_2O)$	0,32	
Коэффициент для газовой части печной среды	$K_{\text{га}}$	$(0,78 + 0,016 H_2O) / (\sqrt{0,01 \cdot (CO_2 + H_2O)} + S_{\text{эф}}) - 0,01$	0,49206	
Связующая величина	$K_{\text{с}}$	$0,03 \cdot [2 - 1,22 \cdot (0,0016 \cdot (T + 273) - 0,5) \cdot \text{ср} / \text{нр}]$	0,03487562	
Интегральная степень черноты	$\varepsilon$	$(K_{\text{с}} + K_{\text{га}}) \cdot S_{\text{эф}}$	0,16822856	
Значение доли излучения АЧТ	$\alpha^*_{\text{г}}$		0,162	
	$\alpha^*_{\text{ст}}$		0,66	
	$\varepsilon^*_{\text{г}}$	$\varepsilon / \alpha^*_{\text{г}}$	0,73	
Коэффициент лучистой теплоотдачи	$\alpha_{\text{дл}}$	$(\sigma \cdot \alpha^*_{\text{ст}} / ((1/\varepsilon^*_{\text{г}}) + (1/0,8) - 1)) \cdot ((\alpha^*_{\text{г}} / \alpha^*_{\text{ст}}) \cdot ((T_{\text{д}} + 273)/100)^4 - ((T_{\text{ст}} + 273)/100)^4) / (T_{\text{д}} - T_{\text{ст}})$	20,40	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Суммарный коэффициент теплоотдачи от п к стенке	$\alpha_{\text{д}}$	$\alpha_{\text{кд}} + \alpha_{\text{дл}}$	69,70	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Коэффициент теплопередачи	$K$	$1 / (1/\alpha_{\text{д}} + 1/\alpha_{\text{в}})$	26,1586235	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Коэффициент теплопередачи с учетом загрязнения труб	$\eta$	$K^* / 1,1$	23,7805686	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Площадь нагрева	$F^*$	$Q_{\text{в}} / \varepsilon_{\Delta t} \cdot K \cdot \varepsilon_{\Delta t}$	83,4937003	

Рис. 1. Фрагмент проверки корректности методики расчета в Excel

Конечная цель проектировщика при подборе петлевого металлического рекуператора – рассчитать поверхность теплообмена. Специалист производит расчеты «вручную», в зависимости от полученных результатов выходит на типовую конструкцию и выбирает конкретную модификацию. Разработанное web-приложение автоматизирует расчет требуемой поверхности нагрева, максимальной температуры стенки металлического рекуператора, вследствие этого подбирается необходимая марка стали, которая имеет предел по допустимой температуре. Пример работы приложения продемонстрирован на рисунке 2.

Поправки			
Поправка на длину канала для Крек	Kl	1	
Поправка для Крек	Ki	1,148	
Процентное содержание веществ			
Количество вещества, %	CO <sub>2</sub> , %	12,47	
Количество вещества, %	H <sub>2</sub> O, %	11,89	
Прочие параметры			
Число Прандтля	Pr	0,603	
Радиусы			
Радиус	R	1850	
Теплотехнические параметры			
Температура воздуха на выходе из рекуператора, °C	t''в, °C	300	
Температура воздуха на входе в рекуператор, °C	t'в, °C	20	
Температура продуктов сгорания перед рекуператором, °C	t'д, °C	800	
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	Vв, м <sup>3</sup> /с	7,5	
Расход продуктов сгорания, м <sup>3</sup> /с	Vд, м <sup>3</sup> /с	9,9	
Интегральная степень черноты	εг	0,162	
Значение доли излучения АЧТ	α''г	0,66	
Значение доли излучения АЧТ	α''ст	0,734	

Default Open XML Save Xml

Рис. 2. Ввод теплотехнических параметров в приложении

Разработанная программный продукт удовлетворяет заявленным функциональным требованиям, позволит пользователям (проектировщикам и инженерно-техническим работникам) повысить производительность труда и сэкономить время при выполнении рутинных операций.

### Список использованных источников

1. Концепция реконструкций и модернизации парка нагревательных печей металлургических и машиностроительных предприятий республики Беларусь: от теории к практике (проблемные вопросы) – В.И. Тимошпольский. – М.; Л. Герман. Вып. 42. «Литье и металлургия», 2007. 21 – 28 с.

2. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев, Б.И. Китаев, В.Г. Лисиенко, А.С. Телегин, Ю.Г. Ярошенко. Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е, М.: «Металлургия», 1982. – 360 с.

3. ASP.NET Core. Разработка приложений. – Д. Чамберс, Д. Пэккет, «Питер», 2018. – 464 с.

УДК 069.02

Д. Д. Николаев

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец,  
Россия

### СПОСОБЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ МУЗЕЙНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Аннотация.** Рассмотрены способы цифровизации музейной деятельности. В настоящее время технологии цифровизации развиваются всё быстрее и становятся доступнее для повсеместного использования. При этом музеи, особенно небольшие региональные, часто даже не задумываются об использовании таких технологий. Объектом исследования являются технологии цифровизации в музейной сфере. Предметом исследования является методы и алгоритмы цифровизации музейной деятельности. Цель работы – привлечение посетителей в музеи и увеличение количества заинтересованных в музейной деятельности лиц путем внедрения технологий цифровизации. Для достижения данной цели предлагалось разработать информационную систему, позволяющую дистанционно ознакомиться с музейными достопримечательностями. В результате, после анализа возможных методов цифровизации, была разработана система, представляющая музейные помещения в цифровом виде при помощи виртуального тура, основанного на сферических панорамах. Внедрение разработанной системы позволяет заинтересовать потенциальных посетителей музея, особенно учитывая текущую ситуацию с COVID-19.

**Ключевые слова:** музей, сферическая панорама, виртуальный тур, цифровизация, Яндекс Панорамы.

**Abstract.** As part of the work on the master's thesis, methods of digitalization of museum activities were considered. Currently, digitalization technologies are developing faster and more rapidly and are becoming more accessible for widespread use. At the same time, museums, especially small regional ones, often do not even think about using such technologies. The object of the research is digitalization technologies in the museum sphere. The subject of the research is methods and algorithms for digitalization of museum activities. The aim of the work is to attract visitors to the